

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

超臨界與亞臨界流混合流況之流場模擬與量測(一)

—以基隆河員山子分洪工程為實例

The measurement and simulation of the flow field with
super- and sub-critical flow conditions (I)

計畫編號：NSC 92-2211-E-002-041

執行期間：92年8月1日至93年7月31日

主持人：賴進松 助理研究員 台灣大學水工試驗所

計畫參與人員：欒順忠 研究助理 台灣大學水工試驗所

一、中文摘要

台灣地區的河川上游坡陡流急，河道之流況時有超臨界流與亞臨界流混合流況同時發生；倘若有水工構造物設置時，則常造成設計上之困難，此因水理上無法確實掌握。目前經濟部水利署執行「基隆河整體治理計畫」之前期計畫中，最重要的工程之一即是正在施工中之員山子分洪工程，而此工程在初步設計階段即遇到上述之混合流況，然而無法利用經驗公式或一般水理數值模式準確計算其複雜水理現象，造成多次進行設計上之修正，顯著地影響施工之流程與進度。近年來，數值模式發展迅速並被廣泛使用，對於模擬複雜流況水理現象已能進一步地掌握，然而在二維流場具有超臨界流況與亞臨界流況之混合流場，尚無完整而有效之模式可資採用於工程設計上。此外，在發展數值模式過程中，必須以充分的試驗量測資料來對模式加以檢定驗證，以提升模式的準確度及其適用性。本研究於是希望能以目前政府積極推動之基隆河員山子分洪工程為實例，建立準確可靠之流場模式，配合進行經濟部水利署已建置完成之員山子分洪水工模型之試驗量測，期能提供將來設計或營運時，水理分析之有效計算模式。

本研究簡化員山子分洪工程束縮段為觀測區域，並將 1/260 之等比模型置入試驗渠槽中；量測方式則應用水尺及皮托管測得水面高程及流速，另外以顆粒影像追蹤技術進行流場觀察；由研究結果可看出渠道束縮所造成之斜震波及相會前與相會後水躍之情況

與流體因傾斜渠底所造成加速的現象。

Abstract

Keywords: supercritical flow, sub-critical flow, finite-volume flow model, Particle image velocimetry, neural network modeling.

The floodplain has been widely developed by building levees to confine the river flow, especially near the metropolitan areas due to growing population along Keelung River in Taiwan. The construction of levee around the urban area prevents the damages from flooding. In order to reduce the potential from the flooding damage in the Keelung and Shiji crease, the YunShanji project has been come-going now. However, during the design of the size of the division tunnel in the project, there was no any efficient and applicable flow field model the calculation of the velocity and water depth. Thus, the most feasible design can not be selected easily after comparing the experimental results by physical model. So, in this study it is aimed to establish the finite-volume flow model to solve the flow field with super-critical and sub-critical flow conditions for the Yunshanji project. This 2-yr proposal for the study on the measurement and of the flow field focused on Yunshanji project the Keelung River. In the first year of this study, the 2D finite-volume flow model, on will be established and modified to simulate the flood propagation, and simulated results will be compared with the measured data collected in

the physical model. In the experiments the technique of Particle image velocimetry will be adopted to measure water surface velocity. In the second year, preparing the topography data and the grid mesh for the simulation area, the models will be tested to verify their applicability with various sets of data. For the investigation of the relationship between surface velocity and depth-averaged velocity, the neural network modeling is considered in this study. Detailed flow field. Finally, the tool of virtual reality will display the simulated or measured results of velocity field as important aids to design and decision support system in the Keelung River Basin.

二、前言

關於流場的量測，一般是由感應器和轉換器組成，並利用資料擷取系統來量測數據，進行分析整理。通常流速之量測，皆以單一儀器定點架設，量取固定位置的流場資料，其精度依量測者之需要而定，不過因單點量測對於較大範圍及測點需求較多時，則需將花費較多的經費與時間，因此近年來已有許多學者積極發展影像流場的量測技術，利用影像處理技術可記錄大區域瞬時的水流流速與流向，是近年發展相當迅速的量測技術，其可應用在水工模型試驗其現場表面流場之量測。關於影像處理技術之研究，最早是應用於物體移動之量化；亦曾以影像技術分析雲層、海水與浮冰之運動情況。Adrian(1991)建立應用影像分析技術於流體力學試驗中，由於影像處理技術之進步，已應用於微觀的紊流運動分析。基本上，影像處理技術可分為以下兩種，Particle tracking velocimetry (PTV) 與 Particle image velocimetry (PIV)。PTV 主要是追蹤單一顆粒之運動情況，PIV 粒子影像流場量測則是分析群體顆粒運動情況。此兩種方式可應用於試驗水槽及水工模型試驗中，用以觀察流況變化、量測表面流速及三維水理；Capart and Young(1998)以探討潰壩後水流經侵蝕性底床時水面變化之過程；Capart Young 及 Zech(1999)應用於潰壩水理分析。若將 PIV 應用於較大觀測區域時，經過攝影角度修正

及座標校正，則可以建構大尺度顆粒影像測速 (Large-Scale Particle Image Velocimetry, LSPIV)方法 Fujita 及 Muste(1997)應用 LSPIV 量測自然河川的表面流速，其一次量測面積可廣達 45,000m² Kruger 等人(2000)應用 PIV 於水工模型中進行即時表面流速量測。

本研究則應用 PTV 方式觀察及量測員山子分洪工程中束縮段之水理情況，並搭配傳統水位及流速之量測，以期了解束縮傾斜渠道中之水理狀況。

三、試驗設備

本研究中主要目的為研究分洪工程中束縮段之水理變化，故將分洪工程簡化並以壓克力材料製作成等比縮尺為 1/260 之模型，並安裝於寬度 30cm 寬之直線渠道內，如圖 2 所示。模型由上游邊界起可分為水平段、束縮傾斜段及直線傾斜段等三部份，束縮傾斜段及直線傾斜段皆具有 10%之坡度。

試驗中使用傳統及顆粒影像追蹤之技術量測水位變化及流速分佈；在傳統儀器方面，我們使用水尺 point gauge 及皮托管 pitot tube 分別測量水面高程及流速。於顆粒影像追蹤部分共可分為攝影設備(camera)、追蹤用顆粒(particle)及照明(illumination)等三部份。本研究中攝影設備採用 RedLake 所生產型號 Motion Scope 1000s 之非偶合式高速攝影機(CCD)進行影像擷取之工作，其影像擷取頻率由每秒 60 張至每秒 1000 張，而影像解析度則隨擷取頻率增加而降低，且頻率之選定則依據流場速度而定。本試驗中使用 10mm 白色塑膠顆粒為追蹤者。因超臨界流於束縮渠道中產生許多波紋，使得光線反射之亮點遮蔽顆粒於水中亮度，如此狀況所得之影像將使分析更加困難，所以我們將模型底床更改為黑色，並將顆粒塗上夜光粉且於顆粒施放前以強力光源照射，使得顆粒發亮，另外降低模型附近之光源以消除水面波紋光點產生，使用之顆粒如圖 3。

四、試驗方法及分析

試驗條件方面，為符合員山子分洪現場超臨界流況，模型上游施放流量 $2.433 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ ，上游邊界水深為 1.0cm，平均入流

流速為 0.811m/s，所以入流流況之福祿數為 2.588，也就是說入流流況為超臨界流。

水面高程及流速量測部分，共進行 74 個斷面，因水流於平面段及部分束縮傾斜段水深僅約 1 cm，故僅量測 0.6 水深位置之流速，其餘部分則依水深大小情況佈置兩點至五點不同深度之量測位置。

影像顆粒追蹤技術應用方面，則將 CCD 攝影機架設於渠道上方並將視窗集中於束縮傾斜段上，此時攝影機之影像平面必須與模型底床平行。此外調整模型周圍光源，以使得自由水面波紋無法產生亮點。接著，於上游邊界釋放數顆強光照射後之顆粒，並同時啟動攝影機紀錄其顆粒流動影像，其記錄之顆粒影像如圖 5，此影像擷取頻率為每秒 125 張。

當顆粒運動影像被高速攝影機擷取後，並需藉由遮罩(mask)逐點對影像做處理，以消除雜訊及強化影像對比。本研究中首先採用高斯分佈函數為遮罩，使影像模糊或降低雜訊，此方式可稱為低通濾波。再者，使用高斯-拉普拉斯分佈函數為遮罩，使得影像細節或邊緣更凸顯，此處則是增加顆粒亮點與背景之差異，此方式可稱為高通濾波。此時採用 dish-cleaning 法則，以影像中顆粒之影像強度為準則依序選取其位置，直到影像中所有像素之強度皆低於給定之影像強度值。而顆粒運動的軌跡及速度，則由兩張時序之影像經由上述方式將顆粒標示後，找出顆粒於下一張影像中之最近位置當作下一瞬間的位置。如此除可標示出顆粒運動軌跡外亦可將其間距離除以兩影像之時間差而得流速。

五、試驗結果

由圖 1 可觀察出水流因渠道束縮使水面於束縮起點處產生斜震波，且於下游處兩側之斜震波相會撞擊產生水躍。

圖 6 為水面高程的變化，其明顯表示斜震波之產生及其範圍與兩斜震波相撞後水位增加之情況，此時斜震波與邊牆之夾角約為 12 度。圖 7 表示模型中間線位置之水為變化，其中兩斜震波相會位置於 $x=22.5\text{cm}$ 處，而束縮傾斜段與直線傾斜段之交界斷面位置於 $x=33.2\text{cm}$ 處。

為顯示顆粒運動的情況，故將時序影像進行重疊，以製作成以長期曝光的影像，如

此可觀察出顆粒運動的軌跡，如圖 8 所表示。圖中顯示顆粒在兩斜震波相會前之淺水區域內，顆粒仍為直線前進，待進入斜震波之區域則偏轉指向中間線。若觀察比較前後時刻的顆粒距離，可發現距離隨下游增加，也就是說流速隨下游而增加，其原因為束縮段中傾斜造成水體加速。

六、參考文獻

1. Adrian, R. J. (1991) Particle -image techniques for experimental fluid mechanics. Annu. Rev. Fluid Mech. 23, pp.261-304
2. Capart, H., Young, D.L., and Zech, Y. (1999) Dam-break induced debris flow. Proceeding Intl. Particulate Gravity Currents Conf.
3. Capart, H., Young, D. L. (1998) Formation of a jump by the dam-break wave over a granular bed. Journal of Fluid Mechanics 372, pp.165-187.
4. Fujita, I., Muste, M. and Kruger, A. (1997) Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic applications. Journal of Hydraulic Research 36(3),pp.397-414.
5. Kruger, A. Weber, K. Muste, M., Fujita, I (2000/7), "Real-time measurements of free-surface velocity using imaging techniques," 4th International Conference on Hydro informatics, Iowa, USA.

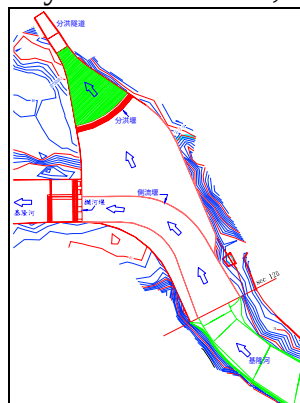


圖 1 員山子分洪工程佈置圖



圖 2 員山子分洪工程 1/260 等比簡化模型



圖 3 攝影機(CCD)架設



圖 4 追蹤用顆粒；10mm 球型塑膠顆粒

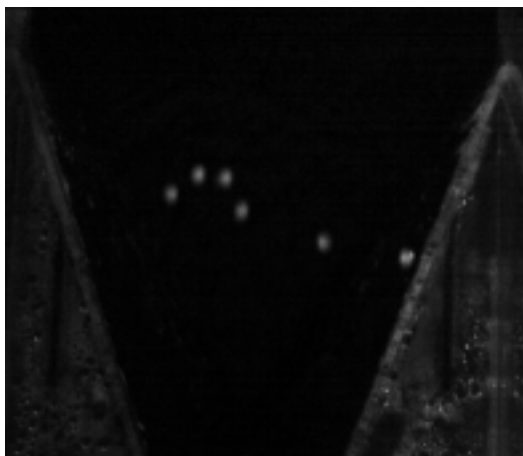


圖 5 顆粒運動影像；480 x 420 像素，影像擷取頻率：1/125 秒

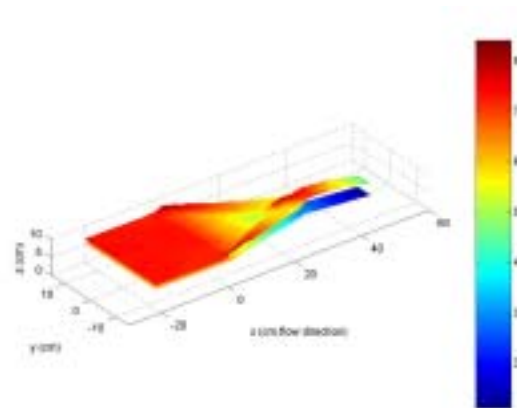


圖 6 簡化模型內水面高程

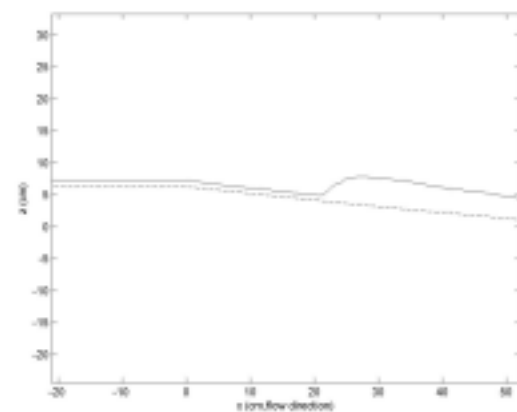


圖 7 模型中間線之水面高程

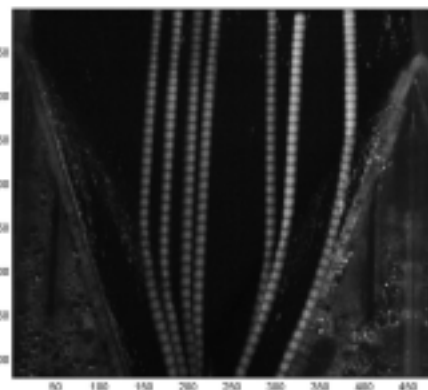


圖 8 以長期曝光方式之顆粒運動軌跡